SITZUNG VOM 27. APRIL 1854.

Eingesendete Abhandlungen.

Die Richtung der Schwingungen des Lichtäthers im polarisirten Lichte. Mittheilung aus einem Schreiben des Herrn Professors Stokes, nebst Bemerkungen

von dem w. M. W. **Haidinger.**

Ein Abschnitt des Schreibens vom Herrn Professor Stokes, den ich heute der hochverehrten mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe vorzulegen die Ehre habe, bezieht sich auf die Richtung der Schwingungen des Lichtäthers in Bezug auf die Polarisations-Ebene, und zwar enthält er nicht nur eine Beurtheilung der Tragweite der Bemerkungen, welche ich als Beweis für die senkrechte Richtung dieser Schwingungen gegen die Polarisations-Ebene aus den Erscheinungen an pleochromatischen Krystallen darstellen zu dürfen glaubte [1]), sondern auch seine Ansicht über den Gegenstand selbst, übereinstimmend mit seinen eigenen früheren Arbeiten. Die Veranlassung benützend, darf ich auch ein Wort über die Mittheilung des Herrn A. J. Ångström [2]) hinzufügen, welche gleichfalls den Gegenstand und den von mir vorgeschlagenen Beweis in das Auge fasst, sowie Bemerkungen der Herren Dr. A. Beer [3]) und Prof. Zamminer [4]) nebst einigen anderen, die sich mir in der letzten Zeit darboten, besonders hervorgerufen durch die Besprechungen mit meinem hochverehrten Freunde, Herrn Regierungsrathe v. Ettingshausen, welcher auch selbst seine Ansichten mitzutheilen beabsichtigt.

---

[1]) Sitzungsberichte der kais. Akademie der Wissenschaften. Mathem.-naturw. Classe. 1852. VIII. S. 52.

[2]) Poggendorff's Annalen. 1853. Bd. 90, Seite 582.

[3]) Einleitung in die höhere Optik. 1853. S. 236.

[4]) Jahresbericht u. s. w. von Liebig und Kopp, für 1852. S. 150.

„Die Thatsachen, deren ich in Bezug auf die Polarisation des Fluorescenz-Lichtes der Kalium-Platin-Cyanide“ (in einem anderen Theile des Schreibens) „gedachte, und die Art wie die Polarisirung der einfallenden Strahlen auf dieses Licht wirkt, stimmen, so viel ich glaube, viel besser mit der Annahme überein, dass die Schwingungen im polarisirten Lichte senkrecht auf der Polarisations-Ebene stehen, als mit der anderen Theorie.“

„Dies veranlasst mich, der Beweisgründe zu erwähnen, welche Sie anführten, um zu zeigen, dass im polarisirten Lichte die Schwingungen senkrecht auf der Polarisations-Ebene stehen. Da ich glaube, Sie würden gerne meine Ansicht darüber kennen, so will ich sie ausführlich anführen. Zu allererst kann ich sagen, dass ich es nicht für *möglich* halte, durch *irgend* eine Combination von *anerkannten* Ergebnissen die Frage zu entscheiden. Unter den anerkannten Ergebnissen betrachte ich solche, wie diese — dass die Schwingungen transversal sind — dass im linear-polarisirten Lichte die Schwingungen geradlinig sind, und *symmetrisch* mit Beziehung der Polarisations-Ebene, und daher entweder parallel oder senkrecht auf diese Ebene — dass im elliptisch- polarisirten Lichte die Schwingungen elliptisch sind u. s. w. Die Entscheidung muss sich immer auf eine oder die andere Art auf dynamische oder physikalische Betrachtungen stützen, welche, mögen sie an sich noch so wahrscheinlich sein, doch nicht zu den anerkannten Ergebnissen gezählt werden können. Es ist auch nicht schwierig zu sehen, welche die Betrachtungen dieser Art in dem Falle Ihrer Beweisführung sind. Nehmen wir den Fall eines doppelt absorbirenden einaxigen Krystalles, wie Turmalin. Es sei oC parallel der Axe, $oA\,oB$ zwei Richtungen senkrecht auf die Axe. Die eine Farbe (ich will sie O nennen) sieht man in der Richtung der Axe Co, und in allen Richtungen in der Ebene BoA (oder senkrecht auf die Axe) in dem oC parallel polarisirten Lichte. Die andere Farbe (E) sieht man in allen Richtungen in der Ebene BoA, wenn das Licht in dieser Ebene polarisirt ist, und man sieht sie gar nicht in der Richtung Co. „„Wenn „diese Farbe nun von Transversal-Schwingungen abhängt, so sind „alle solche Schwingungen, transversal oder senkrecht gegen die „Axe, mit einem Male ausgeschlossen, und die einzigen Schwingungen, „welche möglicherweise zu der Farbe des extraordinären Strahles,

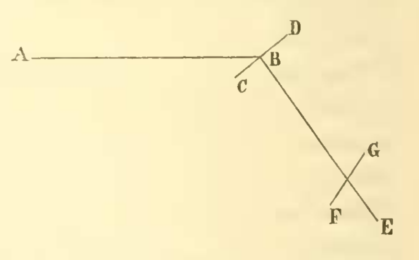
„der in dem Krystall entsteht, gehören können, sind die parallel der „Richtung der Axe.““ Aber wenn von Schwingungen gesprochen wird, welche zu dieser oder jener Farbe gehören, so wird stillschweigend vorausgesetzt, dass in der That die Farbe abhängig ist von der Richtung der Schwingungen. Nun kann man sich allerdings ganz gut vorstellen (so unwahrscheinlich es auch immer sein mag), dass Absorption von dem gleichzeitigen Einflusse der Richtung der Schwingungen und der Richtung der Fortpflanzung abhänge, dergestalt, dass sie als gegeben betrachtet werden kann, wenn die Richtung einer Linie gegeben ist, welche senkrecht auf den beiden vorerwähnten Richtungen steht. Nimmt man diesen Satz an in Bezug auf die Natur der Absorption, so ist vollkommen klar, dass die experimentalen Thatsachen, welche Sie in Bezug auf die doppelte Absorption anführen, zu dem Schlusse führen würde, die Schwingungen wären im polarisirten Lichte der Polarisations-Ebene parallel. Die Wahrscheinlichkeit, welche der Grund Ihrer Beweisführung der Wahrheit von Fresnel's Annahme gibt, reicht also nicht bis zur absoluten Gewissheit, sondern entspricht nur der Unwahrscheinlichkeit, dass Absorption gleichzeitig von der Richtung der Schwingungen und von der Richtung der Fortpflanzung abhängig sein sollte, in der Art wie ich es oben erwähnte.“

„Sie sagen: Wenn die Farbe *E*, welche man in der Richtung *Co* nicht sehen kann, irgendwie auf Transversal-Schwingungen beruht, so sind alle solche Schwingungen transversal oder senkrecht auf die Axe ausgeschlossen, und die einzigen Schwingungen, welche möglicherweise dem in dem Krystalle entstehenden extraordinären Strahl angehören können, sind dann der Richtung der Axe parallel. Nun könnte aber eine besondere Farbe in einer Richtung von transversalen Schwingungen abhängen, und nicht von transversalen Schwingungen abhängen in einer anderen Richtung. Sie könnte von transversalen Schwingungen in der Richtung abhängen, in welchen sie abhängig ist von der Wirkung des Mittels auf das Licht, und das Licht besteht aus transversalen Schwingungen: sie könnte nicht von transversalen Schwingungen abhängen in der Richtung, wo sie nicht blos von der Richtung der Schwingungen bestimmt ist, sondern auch von der Richtung der Fortpflanzung abhängt.“

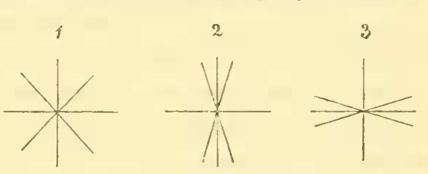
„Daher kann ich Ihre Folgerungen nicht als einen Beweis in dem strengen Sinne des Wortes betrachten. Ein solcher hängt am

Ende von gewissen physikalischen Betrachtungen ab, welche sich auf die Absorption beziehen. Meine eigenen Ansichten in Bezug auf die Ursache der Absorption führen mich sehr stark zu der Meinung, dass sie blos von der Richtung der Schwingungen und der Schwingungszeit *(periodic time)* und gar nicht von der Fortpflanzungsrichtung abhängt. In meinem Sinne haben daher Ihre Gründe sehr grosses Gewicht. Aber da dies von meinen eigenen individuellen Ansichten abhängt, so betrachte ich dieselben nicht als Etwas, was nothwendiger Weise zu allgemeiner Beistimmung zwingen muss."

„Da ich bei diesem Gegenstande bin, so erlauben Sie mir Ihre Aufmerksamkeit auf gewisse Untersuchungen zu lenken, welche mich in einer gänzlich verschiedenen Weise zu einer ähnlichen Schlussfassung führten. Sie sind in dem 9. Bande der *Cambridge Philosophical Transactions, Part I,* veröffentlicht. Eine dynamische Untersuchung des Problems der Beugung, in anderen Worten eine mathematische Untersuchung der Beugung, behandelt wie ein dynamisches Problem, führte mich zu folgendem Gesetz: Wenn linear polarisirtes Licht der Beugung unterworfen wird, so ist jeder Strahl nach der Beugung linear polarisirt, und die Schwingungsebene des gebeugten Strahles ist parallel der Schwingungsrichtung des einfallenden Strahles. Unter Schwingungsebene ist die Ebene verstanden, welche durch den Strahl und durch die Schwingungsrichtung geht. Es sei *AB* in der Ebene des Papieres der einfallende Strahl, der bei *B* gebeugt wird, *BE* auch in der Ebene des Papieres ein gebeugter Strahl, der in das Auge eintritt, *CD*, in einer Ebene senkrecht auf *AB*, sei die Schwingungsrichtung des einfallenden Strahles. Man lege eine Ebene durch *BE* und *CD*, dies wird die Schwingungsebene des gebeugten Strahles sein und wenn in dieser Ebene *FG* senkrecht auf *BE* gezogen wird, so ist *FG* die Schwingungsrichtung. Mit anderen Worten, die Schwingungsrichtung in dem gebeugten Strahle ist so nahe als möglich der Schwingungsrichtung in dem einfallenden Strahle parallel, als dies nur immer unter der Bedingung geschehen kann, dass sie senkrecht auf dem gebeugten Strahle steht. Dieses Gesetz erscheint sehr



natürlich, selbst unabhängig von allem Calcül. Nun folgt aber aus demselben, dass wenn die Schwingungsebene zuerst mit der auf *ABE* senkrecht stehenden Ebene zusammenfällt, und dann allmählich durch gleiche Winkel herumgedreht wird, dass dann die Schwingungsebenen des gebeugten Strahles nicht gleichförmig ausgetheilt sein werden, sondern sie werden mehr angehäuft gegen eine Ebene durch *BE* senkrecht auf die Ebene *ABE* erscheinen. Wenn α_i, α_d die Azimuthe der Schwingungsebene des einfallenden und des gebeugten Strahles sind, erhalten von Ebenen senkrecht auf *ABE*, und θ das Supplement des Winkels *ABE*, so haben wir $tang\,\alpha_d = cos\,\theta\; tang\,\alpha_i$. Nun setzt uns aber der Versuch in den Stand die Richtung und das Maass jener Anhäufung der Polarisations-Ebenen zu bestimmen, und nach dem Ergebnisse werden wir uns geleitet finden, sie als parallel oder senkrecht auf die Schwingungsebenen zu betrachten. Wenn nun Fig. 1 die Projection der Polarisations-Ebenen des einfallenden Strahles auf einer senkrecht auf diesem Strahl stehenden Ebene in verchiedenen Stellungen des Polarisirers (z. B. eines Nicol'schen Prismas in einer kreisförmig getheilten Fassung) darstellt, und Fig. 2 oder Fig. 3 dasselbe für den gebeugten Strahl vorstellt, so würden die Ebenen mehr gehäuft sein wie in Fig. 2 und 3, je nachdem die Polarisations-Ebenen parallel oder senkrecht auf die Schwingungsebenen sind. Die Horizontallinien in Fig. 1, 2, 3 stellen die Projectionen auf der Ebene *ABE* dar. Bei einem Glasgitter geschieht die Beugung unter einem so bedeutenden Winkel, dass der theoretische Azimuth der Polarisations-Ebene des gebeugten Strahles in manchen Fällen bis zwanzig Grad variiren kann, je nachdem man voraussetzt, dass die Schwingungen des polarisirten Lichtes parallel oder senkrecht auf die Polarisations-Ebene stehen. Das Ergebniss der Versuche war vollständig zu Gunsten von Fresnel's Voraussetzung."



So weit Herr Prof. Stokes über diesen Gegenstand. So wie dieser die absolute Beweiskraft der aus dem gleichzeitigen Bestande der verschiedenen Farben in pleochromatischen Krystallen von mir entwickelten Ansichten nicht anerkennt, eben so urtheilt Herr Ångström in der trefflichen, nach mehreren Richtungen hin umfassenden

Mittheilung: „Über die Bedeutung der Polarisations-Ebene in der Optik.“ Nach ihm „fällt bei näherer Untersuchung das Bündige des“ von mir versuchten „Beweises weg.“ Er weist dabei darauf hin, dass eigentlich bei derselben schon vom Anfange an eine *petitio principii* liege, wodurch die beweisführende Kraft vernichtet werde, weil nämlich, wenn es auch nicht in Worten ausgesprochen ist, der Beweis sich auf die Voraussetzung gründe, die Absorption des Lichtes beruhe ausschliesslich auf der Beschaffenheit des Mediums in der Richtung, in welcher die Schwingungen geschehen, und nicht in den, in welchen der Strahl sich fortpflanzt. Aber nicht die Wahrscheinlichkeit der Sache selbst, nur die genügende Kraft des Beweises wurde angefochten, so dass ich gerne mich bei dem Lesen beruhigte, bebesonders da Herr Ångström noch aus mehreren anderweitigen Betrachtungen immer wieder dasselbe Ergebniss folgert. Er benützt zu diesem Zwecke die Beziehungen der Lichtintensität für den ordinären und den extraordinären Strahl einaxiger Krystalle zu ihrer Leitungsfähigkeit für die Wärme in der Richtung der Hauptaxe und senkrecht auf dieselbe, die Beziehungen der Ausdehnung durch Wärme und die relativen Geschwindigkeiten des ordinären und des extraordinären Strahles, die Beziehungen der Änderungen der Verhältnisse der Lichtpolarisation bei mancherlei verschiedenartigen Änderungen der Molecularzustände überhaupt, durch Magnetismus, Compression u. s. w., endlich den Zustand des von einer dispergirenden mattgeschliffenen Glasplatte, die von polarisirtem Lichte beleuchtet ist, nach verschiedenen Azimuthen zerstreuten Lichtes, wobei auch der Arbeiten von Stokes gedacht wird, von welchen der heutige Abschnitt seines Briefes einen Umriss enthält.

Herr Dr. Beer erwähnt des von mir versuchten Beweises, betrachtet ihn aber als illusorisch. Er selbst nimmt jedoch an (§. 61), dass die Schwingungen auf der Polarisations-Ebene senkrecht stehen, die Frage selbst als eine offene betrachtend, mit der Bemerkung: „Auf diese Frage gibt uns weder die Theorie eine unbe-„streitbare Antwort, noch findet sie in irgend einem der bekannten „Lichtphänomene ihre Entscheidung.“

Herr Prof. Zamminer urtheilt: „Man muss gestehen, die „Gesichtspunkte dieser Beweisführung sind einleuchtend und treffend, „aber“ — und hier streiche ich die Flagge — „sie sind keineswegs „neu.“ Er führt nun an, dass er bereits in dem Jahresberichte für

1849 (Seite 106) „die Betrachtung über die Durchsichtigkeitsverhältnisse des Turmalins als ein bekanntes Argument dafür angeführt, dass die Schwingungen des polarisirten Lichtes rechtwinkelig zur Polarisations-Ebene gerichtet sind“, ferner, dass er die Demonstration selbst bereits 15 Jahre vorher „in den Vorträgen des Professors Nörremberg in Tübingen kennen gelernt hat.“ Der Vorwurf, der mir gemacht wird, zu wenig die deutsche Literatur der hierhergehörigen Abtheilung zu kennen, während ich ausführlich aus Moigno's *Répertoire d'Optique moderne* citirte, möchte sich vielleicht gerade durch den Umstand etwas weniges mildern, dass das letztere eben nur ein einziges Werk ist, in dem ich mich über das Frühere Raths erholen konnte, während das Studium der Quellen gewiss schon durch seine Ausdehnung schwierig ist. Doch dürfte wohl auch mir dieser Mangel an vollständiger Kenntniss nachgesehen werden, da ihn ja auch andere Männer zu theilen scheinen, die doch mit dem eigentlichen Gegenstande der Frage weit genauer bekannt sind als ich. Aber ich bin gerne bereit, frühere Ansprüche in voller Ausdehnung anzuerkennen, hier zu Gunsten des hochverehrten Physikers, dem wir den schönen Polarisations-Apparat und so viele andere werthvolle Mittheilungen verdanken. Gewiss kann die Frage selbst durch die Berichtigung nur gewinnen. Mir bleibt vielleicht, dass ich die Aufmerksamkeit auf den Gegenstand, ohne von früheren Hinweisungen zu wissen, doch in etwas auffallenderer oder mehr ausführlicher Weise hingelenkt, als es bis dahin der Fall war.

Jedenfalls ist mein Versuch von namhaften wissenschaftlichen Autoritäten einer günstigen Beurtheilung gewürdigt worden, wenn auch noch die eigentliche unbedingte Beweiskraft nicht zugestanden werden konnte. So viel ist wohl gewiss, Alles neigt sich in die Richtung, durch Deductionen der verschiedensten Art, um dem Satze: dass die Schwingungen senkrecht auf der Polarisations-Ebene stehen das Übergewicht über jenen zu geben, dass sie in der Polarisations-Ebene liegen.

Während aber auch die von anderen Betrachtungen und Quellen fliessenden Darstellungen der Sache von der grössten Wichtigkeit sind, und diese selbst dadurch immer mehr an Klarheit und Sicherheit gewinnt, so scheint mir doch, dass die Gegensätze des Vorkommens verschiedener Farben an den pleochromatischen Krystallen noch besser ausgebeutet werden könnten, als es mir in meinem ersten Versuche

gelang. Ich möchte zweierlei Dinge dabei unterscheiden. Einmal das Vorkommen der Farben selbst, — dies scheint mir in sich von wahrhaft überwältigender Beweiskraft, dann aber meine Darstellung oder Nachweisung der Beziehungen, — und diese will ich gerne als sehr mangelhaft und unvollkommen zugeben, namentlich darin, dass ich suchte, die möglichste Kürze zu erreichen, wodurch manche Verhältnisse und Gegensätze, kaum in wenigen Worten angedeutet, sogleich wieder entschwinden. Eine nähere Betrachtung dürfte dadurch wohl gerechtfertigt sein, selbst auf die Gefahr hin, nun etwas zu weitläufig zu werden. Doch möchte ich jetzt eine andere Form der Beweisführung wählen als damals, und könnte für diese in der That keine schönere Motivirung finden, als sie der verewigte Arago in seiner Gedächtnissrede auf James Watt gibt [1]): „Wenn die Mathematiker „zwischen zwei einander völlig entgegenstehenden Sätzen die Wahl „haben, von denen der eine nothwendig falsch ist, sobald der andere „richtig ist, und wenn von vorn herein Nichts auf eine vernünftige „Wahl zu leiten scheint: so nehmen sie beide entgegenstehende „Sätze an, verfolgen sie sorgfältig durch alle Verzweigungen, und „lassen die letzten logischen Folgerungen derselben hervortreten. „Nun geschieht es in der Regel, dass der unrichtige Satz, und dieser „allein, bei dieser Probe zu einigen Ergebnissen führt, die ein klarer „Verstand nicht zugeben kann. Versuchen auch wir einen Augenblick „dieses Beweisverfahren, von dem Euklides häufig Gebrauch „gemacht hat, und das man so treffend die Methode der Zurück„führung auf Widersprüche *(reductio ad absurdum)* „bezeichnet."

Sollte mir auch mein Vornehmen nicht vollständig gelingen, so hoffe ich doch die Stellung der Folgerungen aus der Natur pleochromatischer Krystalle gegen die früheren um Etwas zu verbessern. Namentlich wünschte ich dies im Angesicht der Theilnahme, die mir Herr Prof. Stokes durch sein freundliches Schreiben bewiesen hat, in welchem er mir die Lage derselben eigentlich erst in ein recht helles Licht setzte. Freilich könnte man sagen: Was nicht vollständig gelingt, gelingt gar nicht, wo es auf mathematische Evidenz ankommt. Dieser Gefahr entgegen, glaube ich aber gerade die folgenden Erörterungen wagen zu dürfen.

---

[1]) Franz Arago's sämmtliche Werke. Bd. I, S. 347. Deutsche Original-Ausgabe. Herausgegeben von Dr. W. G. Hankel.

I. Der Gegenstand sei ein dichromatischer Krystall, und werde bei gleichen Dicken seiner Körpermasse untersucht.

II. Folgende Sätze werden als vollständig bewiesen vorausgesetzt, als anerkannte Ergebnisse, wie sie oben (S. 686) Herr Prof. Stokes verlangt:

1. Die Schwingungen des Lichtäthers sind transversal.

2. Zu gleichen Farben gehören gleiche Wellenlängen; zu verschiedenen Farben verschiedene Wellenlängen.

Bemerkungen. Gleiche Farben können bekanntlich mit allen möglichen Polarisations-Zuständen verbunden sein, und sie sind demnach gänzlich unabhängig von dem Azimuth der Schwingungen, sofern diese nur transversal sind. Unter Farbe möchte ich hier nur die Erscheinung derselben, die Thatsache des Vorkommens nehmen, zu grösserer Einfachheit. Allerdings ist Licht von einer bestimmten Farbe, was von weissem oder überhaupt von einfallendem Lichte nach der Absorption übrig bleibt. Aber man untersucht den Krystall nur bei gleichen Dicken; der Fortschritt der Absorption bei verschiedenen Dicken, und alle theoretischen Betrachtungen über die Natur derselben scheinen mir daher für den gegenwärtigen Zweck gänzlich eliminirt. Alle Betrachtungen würden sich eben so gut auf weisses Licht beziehen, sie werden nur hier mehr in die Augen fallend dadurch, dass gewissermassen die verschiedenen Lichtbündel oder Lichtströme verschiedenfarbig gemalt sind.

III. Untersuchungs-Verfahren.

1. Beobachtung. In der horizontalen Zone, deren Kanten der Axe parallel sind, rund herum in allen Azimuthen. Ein Strahl oder Lichtstrom (Bild der dichroskopischen Loupe oder irgend eines doppeltbrechenden Prismas), der ordinäre, ist polarisirt parallel der Axe mit der Farbe A, und ein Strahl oder Lichtstrom (Bild), der extraordinäre, ist polarisirt senkrecht auf die Axe mit der Farbe B.

Folgerung. Die Schwingungen stehen entweder senkrecht auf der Polarisations-Ebene oder sie liegen in derselben.

Voraussetzung.

1. Die Schwingungen stehen senkrecht auf der Polarisations-Ebene.	2. Die Schwingungen finden in der Polarisations-Ebene Statt.

Folgerung.

1. Die Schwingungsrichtung des ordinären Strahles steht senkrecht auf der Ebene desselben. Es gibt unendlich viele solcher Richtungen, sie stehen senkrecht auf der Axe.	Die Schwingungsrichtung des ordinären Strahles liegt in der Ebene desselben. Es gibt für alle Azimuthe nur Eine solche Schwingungsrichtung. Sie liegt in der Richtung der Axe.
2. Zu einer Farbe *A* oder Wellenlänge gehören unendlich viele Schwingungsrichtungen, aber in eben so vielen verschiedenen Polarisations-Ebenen.	Zu Einer Farbe *A*, oder Wellenlänge gehört nur Eine Schwingungsrichtung.
3. Zu unendlich vielen Polarisations-Ebenen der Farbe *A* gehören unendlich viele Schwingungsrichtungen; zu jeder die auf derselben senkrechte.	Zu unendlich vielen Polarisations-Ebenen gehört nur Eine Schwingungsrichtung.
4. Die Schwingungsrichtung des extraordinären Strahles steht senkrecht auf der Ebene desselben. Es gibt nur Eine solche Schwingungsrichtung. Sie ist der Axe parallel.	Die Schwingungsrichtung des extraordinären Strahles liegt in der Ebene der extraordinären Polarisation. Es gibt unendlich viele solcher Schwingungsrichtungen. Sie stehen in allen Azimuthen senkrecht auf der Axe.
5. Eine Farbe *B*, das ist Eine Wellenlänge, ist in allen Azimuthen mit Einer Schwingungsrichtung verbunden.	Eine Farbe *B*, ist mit unendlich vielen Schwingungsrichtungen verbunden, in jedem Azimuth mit einer andern.
6. Zu Einer Polarisations-Ebene gehört Eine Schwingungsrichtung.	Zu Einer Polarisations-Ebene gehören unendlich viele Schwingungsrichtungen.

2. Beobachtung. In den verticalen Zonen, deren Kanten senkrecht auf der Axe des Krystalls stehen, in allen Azimuthen. Ein Strahl (Bild), der ordinäre. ist polarisirt in der Richtung der Axe mit der Farbe *A*. Das andere Bild, der extraordinäre Strahl ist polarisirt senkrecht auf die Axe, und geht von der Beobachtungsrichtung senkrecht auf die Axe beginnend, bis zu der in der Richtung der Axe selbst über, von der Farbe *B* bis in die Farbe *A*.

In der Richtung der Axe beobachtet, sind die Farben beider Strahlen senkrecht auf einander in allen Azimuthen vollkommen einander gleich und besitzen den Ton *A*.

Folgerungen und Voraussetzungen wie oben.

7. Die Schwingungsrichtung des ordinären Strahles steht senkrecht auf der Ebene desselben. Es gibt nur Eine solche Richtung für jede Ebene. Sie steht senkrecht auf der Axe.	Die Schwingungsrichtung des ordinären Strahles liegt in der Ebene desselben. Es gibt unendlich viele Richtungen für jede Ebene. Sie schliessen alle möglichen Winkel mit der Axe ein, von 0° bis 90°.
8. Zu Einer Farbe oder Wellenlänge gehört nur Eine Schwingungsrichtung.	Zu Einer Farbe oder Wellenlänge gehören unendlich viele Schwingungsrichtungen.
9. Die Schwingungsrichtung des extraordinären Strahles steht senkrecht auf der Polarisations-Ebene desselben. Es gibt in jedem Hauptschnitte unendlich viele solche Richtungen zwischen 0° der Axe parallel und 90° senkrecht auf die Axe.	Die Schwingungsrichtung des extraordinären Strahles liegt in der Polarisations-Ebene desselben. Es gibt für jeden Hauptschnitt nur Eine solche Richtung. Sie steht senkrecht auf der Axe.
10. Zu der Aufeinanderfolge der Farben oder Wellenlängen von *B* bis *A* gehören unendlich viele nach Maassgabe derselben, von 0° bis 90° geneigte Schwingungsrichtungen.	Zu der ganzen Farbenfolge von *B* bis *A* gehört, ungeachtet der verschiedenen Wellenlängen, nur eine einzige Schwingungsrichtung.

3. Combination der Beobachtungen und Schlüsse in III. 1 und III. 2.

11. Die gleiche Schwingungsrichtung ist mit dem gleichen Farbenton, der gleichen Wellenlänge verbunden.	Die gleiche Schwingungsrichtung ist mit dem gleichen Farbenton verbunden, nur senkrecht auf die Axe und in der Richtung der Axe; in allen anderen Richtungen ist sie mit allen möglichen Abstufungen der Farben verbunden.

12. In der Richtung der Axe sieht man die Farbe *B* nicht, weil die derselben angehörige Schwingungsrichtung eine longitudinale Lage erhält.	In der Richtung der Axe sieht man die Farbe *B* nicht, obwohl die derselben angehörigen Schwingungen in allen Azimuthen senkrecht auf der Axe stehen.
13. Die constanten (oder Grenz-) Farbentöne *A* und *B* sind verbunden mit Schwingungen, *B* in der Richtung der Axe, *A* senkrecht auf dieselbe.	Die constanten Farbentöne *A* und *B* sind verbunden mit Schwingungen, *B* senkrecht auf die Axe, *A* in der Richtung der Axe, senkrecht auf dieselbe und in allen Zwischenrichtungen.
14. In der Richtung der Axe sieht man die Farbe *A* durch Schwingungen senkrecht auf die Axe, in der Richtung senkrecht auf die Axe sieht man dieselbe Farbe *A* ebenfalls durch Schwingungen senkrecht auf die Axe.	In der Richtung der Axe sieht man die Farbe *A* durch Schwingungen senkrecht auf die Axe, in der Richtung senkrecht auf die Axe sieht man dieselbe Farbe *A* dagegen durch Schwingungen in der Richtung der Axe.
15. Schwingungen senkrecht auf die Axe finden nur für die Farbe *A* Statt.	Schwingungen senkrecht auf die Axe finden Statt für *A*, für *B* und für alle Zwischentöne.
16. Schwingungen in der Richtung der Axe finden nur für die Farbe *B* Statt. Sie ist in der Richtung der Axe eben desshalb unsichtbar.	Schwingungen senkrecht auf die Axe finden für die Farbe *B* Statt. Sie ist ungeachtet dessen in der Richtung der Axe unsichtbar. Eben solche Schwingungen finden aber auch für die Farbe *A* Statt, und diese ist in der Richtung der Axe sichtbar.
17. Für die Farbe *A* finden die Schwingungen nur senkrecht auf die Axe Statt.	Für die Farbe *A* finden Schwingungen Statt in allen Azimuthen senkrecht auf die Axe, in allen Azimuthen entlang der Axe und in allen Azimuthen der Hauptschnitte.
18. In den gemischten Tönen erscheint jede Farbe nach Massgabe der Lage der zugehö-	Die gemischten Farbentöne treten ein, ohne dass sich die Schwingungsrichtung ändert.

rigen Schwingungsrichtung abhängig von dem Cosinus der Neigung der Letzteren gegen die Sehrichtung.

19. Die gleiche Schwingungsrichtung gehört zur Farbe *A* bei der Beobachtung in der Richtung der Axe und bei der Beobachtung senkrecht auf dieselbe.

Zur Farbe *A* gehören bei der Beobachtung in der Richtung der Axe Schwingungen senkrecht auf die Axe, zu derselben Farbe *A* gehören bei der Beobachtung senkrecht auf die Axe, die auf den sämmtlichen vorhergehenden senkrechtstehenden Schwingungen in der Richtung der Axe. Von einer Einwirkung der ersteren keine Spur.

20. Für gleiche Schwingungsrichtung gleiche Farbe durch den ganzen Krystall hindurch, bei gleicher Wellenlänge.

Für gleiche Schwingungsrichtung verschiedene Farben, also verschiedene Wellenlängen.

Es sei mir erlaubt zu bemerken, dass ich durch „Schwingungen die zu einer Farbe gehören, nichts weiter auszudrücken beabsichtige, als dass sie mit derselben verbunden sind.

Wenn man die Folgerungen aus der einen und der anderen Voraussetzung vergleicht, so wird gewiss Jedermann versucht sein, lieber das Klare, Einfache, Folgerechte und Zusammenhängende, wenn die Schwingungen senkrecht auf die Polarisations-Ebene vorausgesetzt werden, als der Wirklichkeit entsprechend anzuerkennen oder anzunehmen, als die unklaren, willkürlichen, überladenen und widersprechenden Vorstellungen, welche von der zweiten Betrachtungsart, den Schwingungen in der Polarisations-Ebene unzertrennlich sind.

Die vorhergehenden Betrachtungen beziehen sich grösserer Einfachheit wegen auf einaxige, dichromatische Krystalle, und es wird dabei von den Eigenschaften ausgegangen, welche der natürliche Körper, der Krystall, zeigt.

Man könnte den entgegengesetzten Weg einschlagen.

Man könnte einmal einen Körper denken, zur Festhaltung des Begriffes möchte ich ihn monodrom nennen, durchaus homogen,

und von einer solchen Beschaffenheit, dass er für den Durchgang des Lichtes nur Schwingungen in einer einzigen Richtung zulässt, welche also auch als Axenrichtung angenommen werden kann. Ferner werde das Licht, senkrecht auf dessen Fortpflanzungsrichtung die Schwingungen stattfinden, gar nicht absorbirt, dagegen finde gar kein Lichtdurchgang vermöge Schwingungen Statt, welche senkrecht auf jener Axe stehend gedacht werden können. Gewiss zeigt ein solcher Körper im gewöhnlichen Lichte Eigenschaften eines, man möchte sagen, idealisirten Turmalins, er wird vollkommen undurchsichtig sein in der Richtung der Axe, aber vollkommen durchsichtig senkrecht auf die Axe, denn in jeder der senkrecht auf die letztere stehenden Richtungen sind transversale Schwingungen als möglich vorausgesetzt. Die vollkommene Durchsichtigkeit entspricht ganz dem extraordinären Strahle, das durchgelassene Licht muss auch wie dieser polarisirt sein, weil die Schwingungen nur nach Einer Richtung Statt finden. Die Annahme der Schwingungen in der Richtung der Axe führt also auch ganz zu der Vorstellung, wie sie der Krystall in der Natur darbietet.

Man könnte in einem zweiten Falle einem ebenfalls zur Festhaltung des Begriffes, peridrom zu nennenden Körper annehmen, in welchem in allen Azimuthen senkrecht auf eine beliebige Linie, die also auch als Axe betrachtet wird, und sonst in keiner Richtung, Schwingungen stattfinden können. Jede Ebene senkrecht auf die Axe, in welcher Richtung immer betrachtet, hat Schwingungen senkrecht auf dieselbe, aber nur in einer Richtung, das durchfallende Licht ist also polarisirt. In der Richtung der Axe betrachtet, finden Schwingungen in allen Azimuthen senkrecht auf die Axe Statt, man hat also in der Linie der Beobachtung ordinäres, nicht polarisirtes Licht. Beide Erscheinungen zusammengenommen entsprechen vollständig dem Vorkommen des ordinären Strahles einaxiger Krystalle in der Natur.

Denkt man das Licht in jedem der beiden Fälle verschieden an Farbe, und combinirt sie dann noch in einem einzigen Körper, so ist das Ergebniss ein dichromatischer einaxiger Krystall. Aus der einzelnen Schwingungsrichtung folgt der extraordinäre Strahl, aus den Schwingungsrichtungen senkrecht auf die Axe, oder um es anders auszudrücken in der Ebene senkrecht auf die Axe, folgt der ordinäre Strahl in sämmtlichen Hauptschnitten nach allen Azimuthen. Ich

kann mir nicht denken, was man anstellen müsste, um aus den Schwingungen in der Ebene senkrecht auf die Axe die Erscheinungen des extraordinären Strahles abzuleiten.

Im Krystall ist aber der extraordinäre Strahl senkrecht auf die Axe, der ordinäre in jedem Hauptschnitte in der Richtung der Axe polarisirt. Diese Thatsache, verbunden mit der unabhängig von derselben aus der Richtung der Schwingungen abgeleiteten verschiedenen Fortpflanzungsfähigkeit für Lichtströme vollendet den Beweis dafür, dass wirklich im polarisirten Lichte die Schwingungen senkrecht auf die Polarisations-Ebene Statt finden.

Ähnliche Betrachtungen wie bei den einaxigen, dichromatischen Krystallen könnte man auch bei den optisch zweiaxigen, trichromatischen Krystallen in Gegensätzen tabellarisch verfolgen, welche drei verschiedene Grenzfarben zeigen, und zwar jede derselben in den Richtungen senkrecht auf die drei Elasticitäts-Axen polarisirt. Zu jeder Farbe gehört Eine Schwingungsrichtung, wenn diese senkrecht auf der Polarisations-Ebene steht, zu jeder Farbe würden unendlich viele Schwingungsrichtungen gehören, wenn diese in den Polarisations-Ebenen liegen. Die drei einzelnen Schwingungsrichtungen sind den Elasticitäts-Axen parallel, die unendlich vielen lägen in den drei senkrecht auf den Elasticitäts-Axen stehenden Ebenen. Wenn man von der Annahme der drei senkrecht auf einander stehenden Schwingungen in einem nach der Analogie t r i o r t h o d r o m zu nennenden Körper ausginge, so würde die Construction der Eigenschaften im gewöhnlichen und polarisirten Lichte genau denjenigen entsprechen, welche uns die in der Natur vorkommenden trichromatischen Krystalle darbieten.

Die Austheilung der trichromatischen Farbentöne zeigt eine Eigenthümlichkeit, auf welcher ich an dem gegenwärtigen Orte noch einen Augenblick verweilen zu sollen glaube. Es scheint mir nämlich dass sie in dem Gange der Erläuterungen und Beweisführungen in den Lehrbüchern sehr anschauliche Beiträge liefert, für die Existenz von Transversal-Schwingungen überhaupt, und gegen die von Longitudinal-Schwingungen oder Emanationen.

Man könnte untersuchen, ob es möglich ist, dass es homogene Körper gebe, welche bei einfallendem gewöhnlichen Lichte in drei senkrecht auf einander stehenden Richtungen verschiedene Farben zeigen, während das austretende Licht noch immer gewöhnliches

Licht ist. Unter dieser Voraussetzung würden die Zwischentöne zwischen zwei Farben in den Quadranten der grössten Kreise liegen, die Zwischentöne zwischen drei Farben in den Raum-Octanten der Kugel. Diese Farbenaustheilung wäre allein möglich unter der Voraussetzung einer wahren Emanation von Lichtstoff, der sich beim Durchgange durch den Körper färbt, oder wenigstens unter der von Longitudinal-Schwingungen. Alles wäre dann Übergang, nirgends ein Wendepunkt. Aber es gibt keine solche Austheilung der Farben, also auch weder Longitudinal-Schwingung noch Emanation. In den drei senkrecht auf einander stehenden Richtungen sind die Farbentöne aus je zwei verschiedenen senkrecht auf einander polarisirten Grundfarben zusammengesetzt, und zwar dergestalt, dass drei derselben an jedem trichromatischen Krystalle erscheinen, dass sie zu je zweien verbunden sind, und dass jeder der Töne in der Richtung einer der Axen in dem einen Falle gar nicht erscheint, wenn er in allen Richtungen senkrecht auf die Axe und zwar mit der Polarisation senkrecht auf die Axe verfolgt werden kann. In der Richtung der Axe sind aber die Longitudinal-Schwingungen durch die früheren Betrachtungen ausgeschlossen, also bleiben nur die transversalen übrig. Das Wichtigste bei solchen Auseinandersetzungen bleibt, dass man fortwährend den gleichzeitigen Zustand in jedem Theile des homogenen Krystalls vor Augen hält, also auch in den drei grössten Kreisen, in welchen sodann sich von selbst die drei Schwingungsrichtungen senkrecht auf die Polarisations-Ebenen der drei Farben ergeben.